

практических испытаний предоставит разработчикам подобных вибромельниц с гидроприводом возможность определять оптимальные их конструктивные и приводные параметры, характеристики рабочих режимов, правильный выбор которых будет содействовать улучшению качества выходной продукции, повысит экономичность и интенсивность процесса измельчения.

**Список литературы:** 1. Вибрации в технике : Справочник. В 6-ти томах / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Том 4. Вибрационные процессы и машины. Под ред: Э.Э. Лавендела. – 1981. – 509 с. 2. Черный Л.М. Математическое моделирование вибрационной мельницы, работающей в замкнутом цикле. – В кн.: Механика горных машин. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 101 – 108. 3. В.П. Франчук, А.В. Анциферов, А. И. Егурнов. Исследование влияния технологической нагрузки на динамику вибрационных машин // Науч.-техн. сб.: Обогащение руд. – 2001. – № 1. – С. 27 – 31. 4. Деклараційний патент України на корисну модель № 24535, МКл. F 26 B17/10. Установка для вібраційного сушіння / Авт.: Коц І.В., Насіковський А.Б., Петрусь В.В. Бюлетень № 6 від 15.11.2006. 5. Коц І.В. Математическое моделирование рабочего процесса виброгрохота с импульсным гидроприводом // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – № 30. – С. 8 – 15. 6. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / М.Е. Иванов, И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, В.А. Пишенин, И.В. Коц. – М.: Машиностроение, 1977. – 174 с.

*Поступила в редколлегию 11.09.08*

УДК 622.807.002.54 (088.8)

**І.В. КОЦ**, канд. техн. наук, **С.Б. СТОРОЖУК**, **В.В. ПЕТРУСЬ**,  
Вінницький національний технічний університет

## **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ІМПУЛЬСНОГО НАГНІТАННЯ СУМІШЕЙ В ГРУНТ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ**

Предложена конструкция оборудования и технология импульсного нагнетания смесей в грунт оснований фундаментов, которые базируются на использовании гидравлического привода, давление в котором управляется гидравлическим пульсатором. Представлены математические зависимости и обоснованы параметры создания импульсной струи на выходе из нагнетального блока и процесс проникновения импульсной струи в грунт.

Construction of equipment and technology for impulsive pumping of mixtures in soil of bases of foundations, which are based on the use of hydraulic drive and which controlling by a hydraulic pulser pressure, are offered. The mathematical dependences and validation of parameters forming of impulsive stream on the output of a block for pumping and the process of penetration of impulsive a moving of stream in soil, are presented.

**Постановка проблеми.** Досить часто постають проблеми, що пов'язані з нагнітанням твердіючих сумішей та анкеруванням тріщин гірничих порід, ґрунтів основ фундаментів, залізобетонних, бетонних та кам'яних конструкцій з метою їх зміцнення. Якість виконання таких технологічних операцій залежить від досконалості пристроїв для закріплення ґрунту шляхом введення у ґрунт скріпних розчинів, а також речовин, що заповнюють пори ґрунту. Ці обставини зумовлюють доцільність подальшого вдосконалення і розробки нового устаткування для інтенсифікації нагнітання твердіючих сумішей, зокрема, у ґрунти основ фундаментів при їхньому посиленні.

**Аналіз останніх досліджень.** Відомі конструкції ін'єкторів для нагнітання твердіючих сумішей, які надають можливість подавати розчин до шпурів [1 – 3]. Такі конструктивні рішення не завжди забезпечують якісне заповнення пор у ґрунті або анкерування тріщин у процесі нагнітання. Недоліком відомих ін'єкторів є їх низькі темпи заповнення пор і тріщин та недостатня надійність з погляду закупорювання отворів перфорованих ланок частками ґрунту, яке збільшується з глибиною занурення ін'єктора у ґрунт, що закріплюється, внаслідок чого інструмент виходить з ладу і потребує виймання зі свердловини і прочищення отворів, що значно зменшує продуктивність праці.

**Формулювання мети і задач дослідження.** Мета досліджень – розробка нового пристрою для імпульсного нагнітання сумішей у ґрунт, що сприятиме інтенсифікації проникнення скріпних розчинів, підвищенню якості та збільшення темпу заповнення ними пор та тріщин ґрунтів в основі фундаментів, які підлягають посиленню, підвищення продуктивності праці при виконанні таких технологічних операцій. Передбачається також створення теоретичних основ для розрахунку параметрів устаткування. Основні задачі: розробка математичних моделей динаміки роботи гідроприводу нагнітального вузла і процесу проникнення імпульсного струменя розчину у ґрунт при застосуванні запропонованого устаткування.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 зображена конструктивна схема запропонованого нами пристрою для імпульсного нагнітання скріпних сумішей у ґрунт основи фундаменту [4]. Пристрій працює так.

При включенні привідного гідронасоса 13 (рис. 1) робоча рідина під тиском поступає з нагнітальної магістралі 24 по гідролінії 23 через зворотний клапан 12 в гідроаккумулятор 11, проводячи його зарядку, і в порожнину управління 16 зі сторони торця першої ступені двоступінчастого двопозицій-

ного чотирехходового золотника 10.

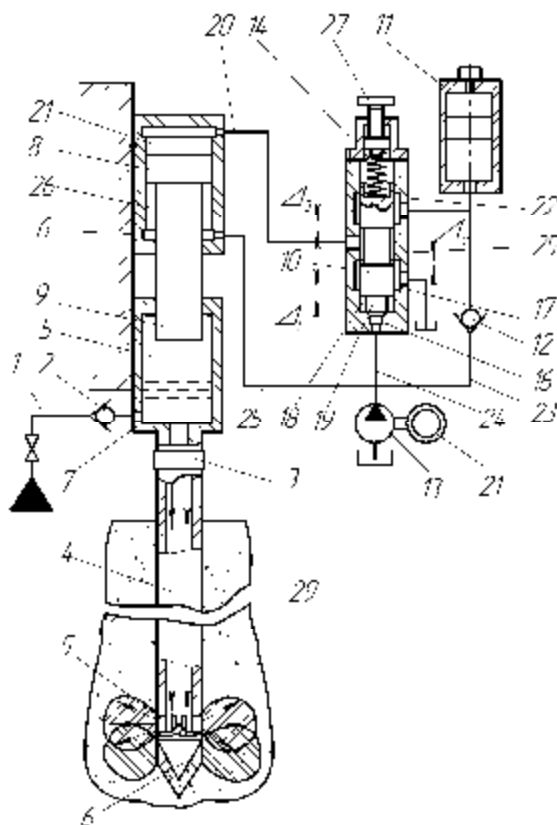


Рис. 1. Конструктивна схема установки для нагнітання розчину у ґрунт

Окрім того, робоча рідина надходить по гідролінії 25 у взвідну камеру 26, здійснюючи переміщення поршня 8 зі штоком 9 в крайнє верхнє положення. Одночасно при рухові поршня 8 зі штоком 9 у верхнє положення з магістралі 1 через зворотний клапан 2 відбувається подача порції розчину в напірну камеру 5. По досягненні поршнем 8 зі штоком 9 крайнього верхнього положення і закінченні зарядки гідроаккумулятора 11, тиск робочої рідини зростає до величини, на яку налаштований зусиллям регульованої пружини 14 золотник 10. Після подолання силою тиску робочої рідини зусилля регульованої пружини 14 відбувається відрив тіла золотника 10 від установочного сидла і робоча рідина, що поступає в міжступінчасту порожнину управління 18, починає діяти на збільшену площу другої ступені. Оскільки зусилля від тиску робочої рідини набагато перевищує зусилля регульованої пружини 14, то золотник 10 різко переміщується вгору, проходить перекриття  $\square_1$  і здійснює при цьому відкриття зв'язку зливного кільцевого розточування 17 з порожниною управління 18 зі сторони більшої ступені золотника 10. Тиск

робочої рідини починає падати до зливного. Одночасно золотник 10, переміщаючись вгору і пройшовши перекриття  $\square_2$ , здійснює закриття зв'язку за допомогою каналу 20 камери 21 робочого ходу із зливним кільцевим розточуванням 17 і відкриває зв'язок їх з кільцевим розточуванням 22, яке постійно зв'язане з гідроаккумулятором 11. Робоча рідина із гідроаккумулятора 11 поступає по каналу 20 в камеру 21 робочого ходу і починає переміщувати поршень 8 з штоком 9 в нижнє положення. Робоча рідина із взвідної камери 26 по гідролінії 25 видаляється на злив. Шток 9 переміщується в напірній імпульсній гідрокамері вниз і витискає розчин скріпної рідини через клапан тиску 3 до колони ін'єктора, а потім у ґрунт. Коли поршень 8 з штоком 9 опускаються, тиск робочої рідини падає до мінімуму, при якому золотник 10 повертається в початкове нижнє положення і сідає на установочне сидло, перекриваючи зв'язок порожнини управління 16 зі сторони торця першої ступені із зливним кільцевим розточуванням 17. Надалі цикл повторюється в автоматичному режимі. Запропонований гідропривід надає можливість в широких межах варіювати частоту повторення гідравлічних імпульсів, а також їх тривалість і об'єм порцій нагнітання розчину в ґрунт. Підвищення ефективності нагнітання розчину в ґрунт в запропонованому пристрої в порівнянні з відомими [1 – 3] досягається тим, що такі визначальні параметри, як: частота проходження імпульсів нагнітання, об'єм порцій нагнітання розчину, величина тиску і тривалість імпульсного нагнітання можуть бути вибрані оптимальними.

Розглянемо деякі особливості розрахунку гідроприводу установки для імпульсного нагнітання розчину у ґрунт. Маса порції розчину, який нагнітається у ґрунт за один імпульс, будемо вважати дану зосередженою, тобто  $m_a = rFs$ , де  $r$  – густина розчину;  $F$  – площа поперечного перерізу штока 9 поршня 8, що входить в робочу порожнину з водою 5;  $s$  – величина переміщення штока 9 поршня 8. Припустимо також, що гідроаккумулятор 11 розряджається згідно лінійного закону, тобто  $P_0 = cs$ , де  $P_0 = p_0 F$  – сила початкової дії на масу розчину, що викидається;  $p_0$  – тиск в гідроаккумуляторі 11 до початку розрядки;  $c$  – узагальнений коефіцієнт, що враховує розрядку гідроаккумулятора 11. Гідравлічні опори в гідросистемі приймаємо пропорційними квадрату швидкості переміщення штока 9 поршня 8, тобто  $R_r = au^2$ , де  $a$  – коефіцієнт гідравлічного опору;  $u$  – швидкість переміщення штока 9. Масою поршня 8 зі штоком 9 та масою об'єму технологічного розчину, який викидається в одному імпульсі нехтуємо.

З врахуванням прийнятих припущень, диференційне рівняння імпульс-

ної подачі об'єму розчину, що нагнітається, можна представити як [6]:

$$r F s \frac{d^2 s}{dt^2} = P_0 - c s - a \left( \frac{ds}{dt} \right)^2. \quad (1)$$

Це рівняння перетворимо до вигляду:

$$r F s \frac{d^2 s}{dt^2} + a \left( \frac{ds}{dt} \right)^2 + c s - P_0 = 0, \quad (2)$$

замінімо в ньому  $z = \frac{ds}{dt}$ ,  $\frac{d^2 s}{dt^2} = z \left( \frac{dz}{dt} \right)$  і запишемо:

$$r F s z \frac{dz}{dt} + a z^2 + c s - P_0 = 0, \quad (3)$$

Це рівняння є окремим випадком рівняння Абеля [5]:

$$\frac{ds}{dt} = (r F s)^{(-a / r F)} \sqrt{2 \int f(s) ds + C_1}, \quad (4)$$

звідки:

$$t = \int \frac{ds}{(r F s)^{(-a / r F)}} \sqrt{2 \int f(s) ds + C_1}, \quad (5)$$

де:

$$f(s) ds = - \int (c s - P_0) (r F s)^{(2a / r F - 1)} ds.$$

Підстановкою значень вихідних величин в рівняння (4) і (5) визначається швидкість та тривалість нагнітання технологічного розчину.

При описі процесу гідроімпульсного проникнення струменя розчину у приймаємо наступні припущення: ґрунт в місці дії струменя представляє собою монодисперсну речовину з мінеральних частинок однакового розміру; сила дії струменю технологічного розчину на ґрунт і опір в ньому рівномірно

розподілені за всією площею дії струменю при його проникненні; струміль представляє собою нестискуваний стрижень діаметром  $d$  і довжиною  $S$ ; ґрунт у момент переміщення струменю розчину через отвір перфорації ін'єктора піддається тільки стисненню, опір ґрунтового масиву не враховується.

Розглянемо фрагмент 1 – 2 струменя рідини площею поперечного перерізу  $\omega$  і довжиною  $S$ , який переміщується, наприклад, горизонтально з деякою швидкістю  $v$ , набутою в гідроімпульсній камері високого тиску (рис. 2). Рідину будемо вважати ідеальною і нестискуваною.

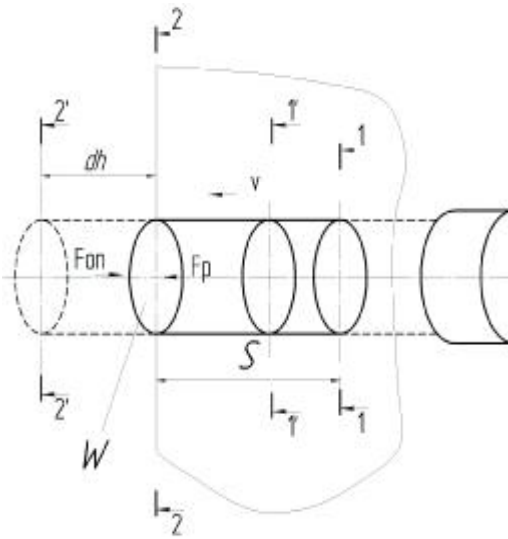


Рис. 2. Схема переміщення фрагменту

Припустимо, що за нескінченно малий проміжок часу цей фрагмент перемістився в ґрунт на відстань  $dh$  в нове положення 1'–2'. В результаті опору ґрунтового масиву стисненню швидкість руху фрагменту зміниться на  $dv$ .

Визначимо зміну кінетичної енергії маси фрагменту, що перемістився з положення 1–2 в нове положення 1'–2'. Зміна кінетичної енергії буде дорівнювати різниці кінетичних енергій мас об'ємів 1–2 і 1'–2':

$$E_{K.1-2} = \frac{mv^2}{2} = \frac{r\omega Sv^2}{2}, \quad (6)$$

$$E_{K.1'-2'} = \frac{m(v-dv)^2}{2} = \frac{r\omega S(v-dv)^2}{2}, \quad (7)$$

де  $m$  – маса переміщуваного об'єму, кг;  $v$  – швидкість, м/с;  $\rho$  – густина технологічного розчину, кг/м<sup>3</sup>.

Перетворимо вираз (7):

$$E_{K.1'-2'} = \frac{rwS (v - dv)^2}{2} = \frac{rwSv^2 - (2v dv - dv^2)}{2}. \quad (8)$$

Приймемо нескінченно малу величину  $2v dv - dv^2$  у виразі (8) приблизно рівною нескінченно малій величині  $2v dv$ , тоді:

$$E_{K.1'-2'} = \frac{rwS (v - dv)^2}{2} \approx \frac{rwS (v^2 - 2v dv)}{2}. \quad (9)$$

Згідно теореми про кінетичну енергію, зміна кінетичної енергії на деякому проміжку шляху дорівнює повній роботі всіх сил на цьому шляху.

Тоді:

$$E_{K.1-2} - E_{K.1' - 2'} = \sum A_{dh}. \quad (10)$$

де  $\sum A_{dh}$  – повна робота всіх сил на шляху  $dh$ .

На фрагмент технологічної рідини, що переміщується у ґрунтовому середовищі, із врахуванням припущень, діють наступні основні сили: сила гідродинамічного тиску рідини і сила опору ґрунтового масиву стисненню, отже, загальна робота цих сил може бути представлена, як:

$$\sum A_{dh} = A_G + A_P - A_{оп}. \quad (11)$$

Швидкість руху фрагменту струменя рідини на початку ділянки  $dh$  дорівнює  $v$ , тоді сила гідродинамічного тиску рідини  $F_p = \rho Q v$ . Припустимо, що при проходженні нескінченно малої ділянки  $dh$  сила гідродинамічного тиску рідини залишилася незмінною і дорівнює  $F_p$ , тоді:

$$A_P = \rho Q v dh, \quad (12)$$

де  $Q$  – витрата рідини, м<sup>3</sup>/с.

Робота сили опору ґрунтового масиву при його стисненні:

$$A_{OP} = F_{OP} dh = \tau w dh, \quad (13)$$

де  $F_{OP} = \tau w$  – сила опору ґрунтового масиву стисненню, Н;  $\tau$  – напруга, яка визначається твердістю ґрунту, Н/м<sup>2</sup>.

Підставимо вирази (6), (9), (12), (13) в (10):

$$\frac{rwSv^2}{2} - \frac{rwS(v^2 - 2v dv)}{2} = rQv dh - tw dh. \quad (14)$$

Введемо коефіцієнт відносної втрати швидкості руху струменя рідини у ґрунтовому масиві залежно від глибини проникнення  $k_{III} = \frac{dv}{dh}$ , величина якого залежить від типу і властивостей оброблюваного ґрунту.

Тоді:

$$rwSv dv = tw dh + rQv \frac{dv}{k_{III}}. \quad (16)$$

Проінтегруємо обидві частини рівності (16) в околі області  $R = \{(v_{max}; 0) - (0; h_{max})\}$ . Межі інтегрування вибрані з міркувань, що при вході струменя рідини в ґрунт він має максимальну початкову швидкість  $v_{max}$ , при цьому глибина проникнення струменя в ґрунтовий масив дорівнює 0, через деякий проміжок часу швидкість вертикального переміщення струменя зменшується до 0, що відповідає максимальній глибині проникнення струменя в ґрунт  $h_{max}$ .

В результаті цього, після деяких перетворень, отримаємо:

$$h_{max} = \frac{(rW - \frac{1}{k_{III}} rQ)v_{max}^2}{2tw}. \quad (17)$$

Перетворимо вираз (17), з метою виявлення залежності глибини проникнення струменя рідини в ґрунтовий масив від величини тиску рідини в гідроімпульсній камері 5.



При виході рідини із гідроімпульсної камери 5 через отвір ін'єктора витрату і швидкість струменя визначаємо згідно відомих формул [ 6]:

$$Q = \mu w \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad v = j \sqrt{\frac{2p}{\rho}},$$

де  $\mu$  і  $j$  – відповідно, коефіцієнт витрати і швидкості;  $p$  – тиск всередині гідроімпульсної камери, Па.

Підставивши ці вирази в (17) і провівши необхідні перетворення, отримаємо:

$$h_{\max} = \frac{(W - \frac{\mu j w}{k_{III}} \sqrt{\frac{2p}{\rho}}) j^2 p}{\tau w}, \quad (18)$$

де  $W$  – об'єм рідини вноситься за один імпульс (об'єм робочої камери);  $w$  – площа поперечного перерізу струменя (площа вихідного отвору перфорації ін'єктора), м<sup>2</sup>;  $k_{III}$  – коефіцієнт відносної втрати швидкості руху струменя рідини у ґрунтовому масиві, залежний від глибини проникнення, 1/с;  $p$  – тиск рідини всередині гідроімпульсної камери, Па;  $\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – напруження, що визначає твердість ґрунтового масиву, Н/м<sup>2</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Таким чином, отримані вирази (17) і (18) дозволяють визначити максимальну глибину проникнення  $h_{\max}$  високонапірного струменя технологічного розчину у ґрунт при її гідроімпульсному нагнітанні залежно від технологічних параметрів процесу нагнітання, технічних параметрів пристрою і фізичних властивостей ґрунтового масиву.

**Висновки.** Виведені узагальнені функціональні залежності, що зв'язують між собою основні параметри конструкції запропонованого устаткування, привідної гідросистеми, що придатні для практичних розрахунків при попередній оцінці і виборі їхніх раціональних параметрів на стадії ескізного проектування. Наведені математичні залежності із визначення параметрів формування імпульсного струменю на виході нагнітального вузла і розглянуто процес проникнення імпульсного струменю розчину у ґрунт, які забезпе-

чують визначення оптимальних режимів нагнітання рідини та гарантують ефективність імпульсної дії струменю при заповненні пор та тріщин у ґрунті.

**Список літератури:** 1. Ланис А.Л., Крицкий М.Я. Геотехническое обоснование упрочнения грунтовых оснований методом высоконапорной инъекции // Город и геологические опасности, Материалы Международной конференции. Часть II, С.-Пб., 2006. – С. 78 – 86. 2. Назаревич Б.Л. Проблеми пов'язані з влаштуванням горизонтальних гідроізоляцій при реставрації заволожених об'єктів / Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Львів: Каменяр, 2004. – Вип. 6. – С. 97 – 107. 3. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с. 4. А.с. 1273606, СССР, МКИ E21F 5/02. Генератор ударных импульсов / И.В. Коц, А.Ф. Пономарчук, Г.С. Ратушняк. – № 3848930/22-03.– Заявлено 24.01.85 // Открытия. Изобретения. – 1986. – № 4. 5. Эрих Камке. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Лань, 2003. – 643 с. 6. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка і газу. – К.: Вища школа, 2002. – 277 с.

*Надійшла до редколегії 11.09.08*

УДК 666.97.033.16

**С.Б. СТОРОЖУК, І.В. КОЦ**, канд. техн. наук,  
Вінницький національний технічний університет

## **ВІБРОУДАРНА ПЛОЩАДКА ДЛЯ ЖОРСТКИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

Приведены результаты исследования динамики низкочастотной виброударной площадки с импульсным гидروприводом для формирования изделий из жестких бетонных смесей. Предложена научно обоснованная методика расчета основных параметров.

The research results of low-frequency vibroplatform with impulsive hydraulic drive for forming reinforced concrete wares are given. A scientifically founded method of computation of basic parameters is offered.

**Актуальність.** На сьогоднішній день ще недостатньо високоефективних технологій, які можуть бути застосовані для виготовлення різноманітних бетонних виробів складної конфігурації із жорстких бетонних сумішей.

У зв'язку з цим, виникла необхідність в створенні віброударних площадок, привід яких дозволяє без яких-небудь конструктивних змін в ньому, плавно регулювати робочі параметри коливань залежно від режиму, потрібного згідно технологічному процесу.